

Diagnozowanie ekscentryczności wirnika silnika indukcyjnego metodą aury magnetycznej

Jan Mróz

Długość szczeliny powietrznej δ pomiędzy stojanem a wirnikiem jest, obok średnicy zewnętrznej wirnika i długości maszyny, jednym z głównych wymiarów silnika indukcyjnego. Dzieje się tak dlatego, że jej wartość ma istotny wpływ na podstawowe parametry elektromagnetyczne silnika. Wymaga się nie tylko ścisłego dotrzymania wymiaru tej szczeliny, ale także zapewnienia jednakowej jej wartości na całej powierzchni przyszczelinowej – wirnik musi być centrycznie umieszczony w otworze stojana. Wszystkie odstępstwa od tego położenia nazywa się ekscentrycznością wirnika. W zależności od ułożenia osi wirnika i osi symetrii otworu stojana rozróżnia się – ekscentryczność statyczną: o stałym położeniu minimalnej szczeliny w przestrzeni; dynamiczną – położenie minimalnej szczeliny przemieszcza się wzdłuż obwodu stojana – oraz mieszaną, gdy jednocześnie występuje ekscentryczność statyczna i dynamiczna.

W silniku indukcyjnym z ekscentrycznością występują niekorzystne zjawiska, do których można zaliczyć:

- nadmierne obciążenie łożysk i ich nagrzewanie;
- przyspieszone zużycie smaru;
- wzmożone efekty wibroakustyczne (hałas, drgania);
- zacieranie wirnika o stojan (w skrajnych przypadkach);
- możliwy wzrost wartości potencjalnych prądów łożyskowych z powodu zwarć metalicznych w łożyskach przy dużym skośnym ustawieniu wirnika [4].

Tego typu awarie zwykle nie pojawiają się nagle i dlatego możliwa jest obserwacja trendu zjawiska, co jest jedną z podstaw diagnozowania i wypracowywania – na drodze badań eksperymentalnych i technik symulacyjnych – określonych metod diagnostycznych [3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

W dalszej części przedstawiono możliwość wykorzystania pola magnetycznego wokół silnika indukcyjnego (aury) jako sygnału diagnostycznego przy badaniu ekscentryczności wirnika.

Może to być podstawą technicznej realizacji metody diagnostycznej badania ekscentryczności wirnika, która mogłaby mieć nazwę „metoda aury magnetycznej”.

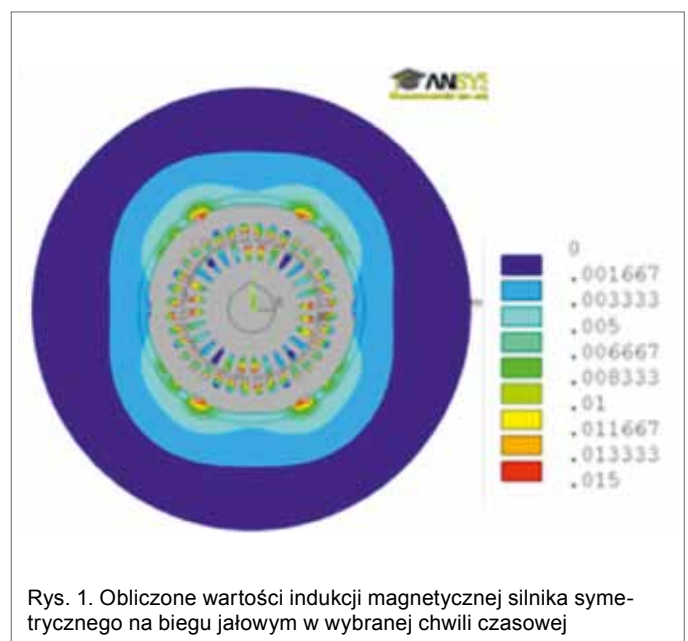
Aura magnetyczna symetrycznego silnika indukcyjnego

Linie strumienia magnetycznego silnika indukcyjnego zamykają się wzdłuż jarzma stojana, zębów stojana, szczeliny powietrznej, zębów wirnika i jarzma wirnika. Pewna część strumienia pojawia się także poza obwodem magnetycznym silnika jako strumień rozproszenia. Jego część wokół silnika tworzy obszar, który dalej będzie nazywany aurą magnetyczną. Na rys. 1 przedstawiono obliczony obraz pola magnetycznego w przekroju poprzecznym symetrycznego silnika indukcyjnego.

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania pola magnetycznego wokół silnika indukcyjnego (aury) jako sygnału diagnostycznego przy badaniu ekscentryczności wirnika. Przeprowadzono modelowanie zewnętrznego pola magnetycznego silnika klatkowego za pomocą oprogramowania ANSYS. Model symulujący obejmował zarówno silnik z centrycznie umieszczonym wirnikiem, jak i silnik z ekscentryczną szczeliną powietrzną. Wykonano pomiary eksperymentalne na opracowanym stanowisku laboratoryjnym z silnikiem indukcyjnym klatkowym.

DIAGNOSING ECCENTRICITY OF INDUCTION MOTOR ROTOR BY MAGNETIC AURA METHOD

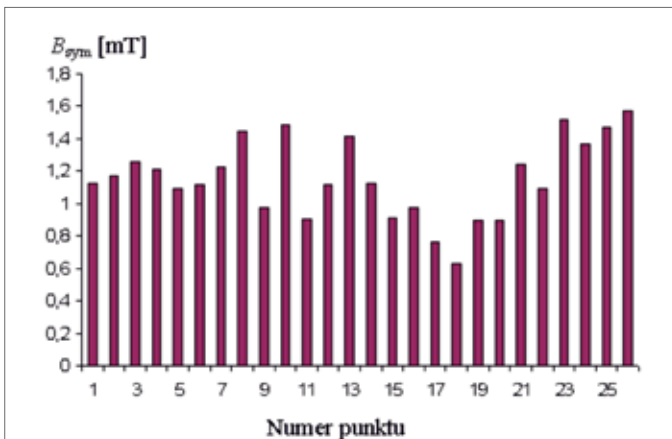
Abstract: The article presents the possibility of using the magnetic field surrounding an induction motor as a diagnostic signal in testing rotor's eccentricity. The modelling of the magnetic field around the induction cage motor was performed by means of the ANSYS software. The simulation involves both an induction motor with a centric rotor and a motor with an excentric air gap. Experimental measurements were performed on an induction cage motor in laboratory conditions.



Rys. 1. Obliczone wartości indukcji magnetycznej silnika symetrycznego na biegu jałowym w wybranej chwili czasowej



Rys. 2. Pomiar indukcji magnetycznej w wybranych punktach silnika z symetryczną szczeliną powietrzną



Rys. 3. Zmierzony rozkład wartości skutecznej indukcji magnetycznej aury silnika symetrycznego na biegu jałowym

go na biegu jałowym. Obliczenia wykonano dla silnika klatkowego Sg 112M-4 o danych: $U_N = 400/690$ V, $I_N = 8,26/4,77$ A, $P_N = 4$ kW, $n_N = 1430$ obr/min, $\cos\varphi = 0,83$, przy założeniu, że jedynym źródłem pola jest przepływ uzwojenia stojana (idealny bieg jałowy). Długość szczeliny powietrznej jest równa: $\delta = 0,3$ mm. Do obliczeń ze pomocą ANSYS 12.1 przyjęto, że pole magnetyczne jest płaskorównoległe, zbudowany model silnika nie uwzględnia kadłuba i skrzynki zaciskowej, które są wykonane ze stopu aluminium i nie wpływają na rozkład indukcji magnetycznej wokół silnika.

Widać, że pole na zewnątrz silnika ma cechy symetrii wynikające z ilości par biegunów p (tu $p = 2$). Otrzymany kształt pola jest nieco wyidealizowany poprzez przyjęcie uproszczeń polegających na założeniu pełnej symetrii magnetycznej obiektu. W rzeczywistości silnik jest posadowiony na stalowej płycie fundamentowej, może mieć złożony kształt magnetycznego kadłuba, w pobliżu mogą znajdować się inne obiekty magnetyczne, a także obce pola magnetyczne. Wszystko to zakłóca symetrię aury magnetycznej silnika w tym stanie pracy. Taki przypadek był symulowany w pracy [6]. Dla silnika Sg 112M-4 z symetryczną szczeliną powietrzną zmierzono wartość skuteczną indukcji magnetycznej na zewnątrz silnika hallotronowym miernikiem stałego (rys. 2) i zmiennego pola magnetycznego HTM – 12c w 26 punktach między żebrami na powierzchni zewnętrznej korpusu silnika.

Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 3. Istotnie, pomiary indukcji magnetycznej wokół silnika symetrycznego wykazują znaczny rozrzut wartości (oznaczenie punktów pomiarowych jak na rys. 6).

Aura magnetyczna silnika indukcyjnego z ekscentrycznością statyczną

Na rys. 4 pokazano obliczony obraz pola silnika z ekscentrycznością statyczną $\varepsilon = 50\%$ polegającą na przesunięciu wirnika w lewo (rys. 6) o 0,15 mm (50% wartości δ długości szczeliny).

Widać, że obraz pola uległ znacznej desymetryzacji. Pomiaru indukcji magnetycznej na powierzchni kadłuba w tym stanie wykazują również istotną zmianę wartości. Dysponując zatem rozkładem indukcji dla silnika z symetryczną szczeliną powietrzną, jak na rys. 3, można w trakcie eksploatacji silnika określić zmianę indukcji magnetycznej wywołaną ekscentrycznością zgodnie z zależnością:

$$\Delta B = \frac{B_{sym} - B_{eksc}}{B_{sym}} 100 \quad (1)$$

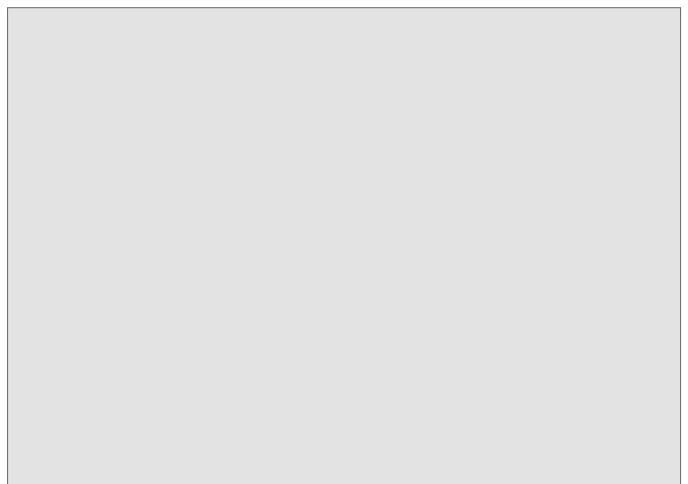
gdzie: B_{sym} , B_{eksc} – skuteczna wartość indukcji magnetycznej w danym punkcie pomiarowym dla silnika symetrycznego, dla silnika z ekscentrycznością statyczną.

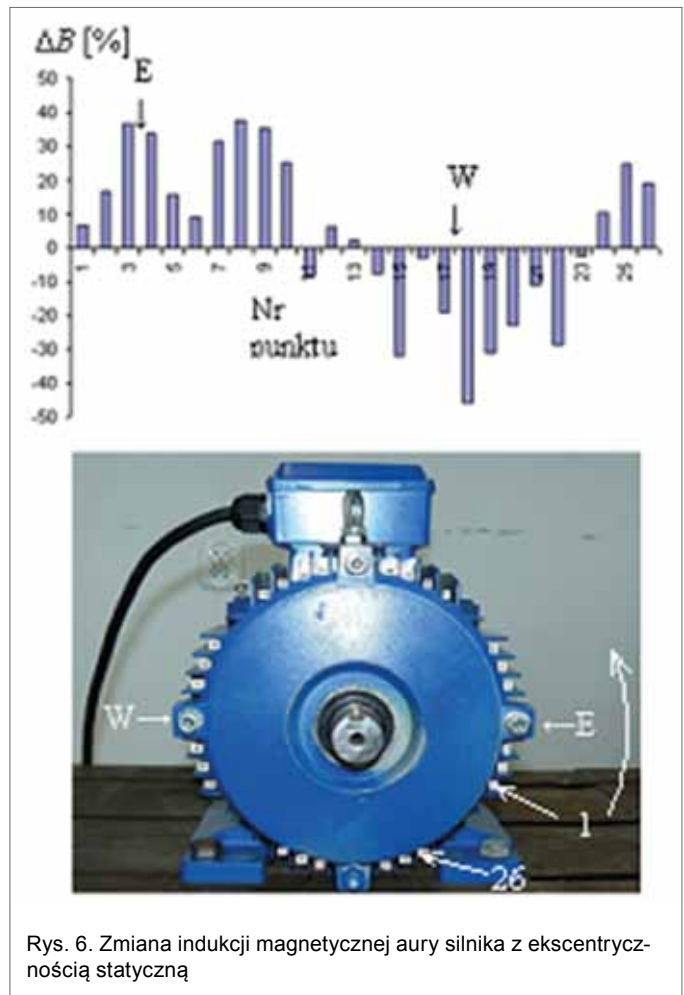
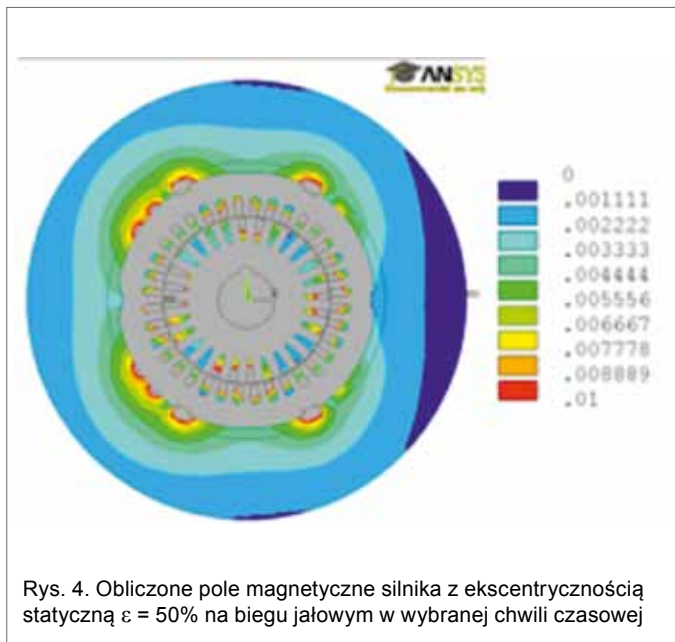
Dla potrzeb badań eksperymentalnych niecentryczne umieszczenie wirnika w otworze stojana było możliwe poprzez usunięcie tarcz łożyskowych i umieszczenie wirnika na dwóch ruchomych stojakach zewnętrznych (rys. 5).

Zmierzono wartości indukcji magnetycznej B_{eksc} dla silnika z ekscentrycznością statyczną $\varepsilon = 50\%$, a następnie – wykorzystując zależność (1) oraz wyniki wartości indukcji B_{sym} przedstawione na rys. 3 – obliczono zmianę indukcji ΔB , co ilustruje rys. 6.

Można zauważyć, że w strefie (W), obejmującej punkty pomiarowe od 14 do 22, szczelina powietrzna miała najmniejszą wartość i zachodził przypadek $B_{eksc} > B_{sym}$, co oznacza ujemną wartość ΔB . Zmniejszenie wielkości szczeliny powietrznej o 50%, z 0,3 mm na 0,15 mm, powoduje wzrost indukcji magnetycznej na zewnątrz silnika średnio o ok. 25%. W obszarze zwiększonej szczeliny (punkty od 1 do 10 – strefa (E)) – indukcja maleje.

reklama





Informacje te pozwalają na postawienie diagnozy dotyczącej ekscentryczności statycznej wirnika.

Podsumowanie

W przypadku pojawienia się określonego uszkodzenia silnika indukcyjnego o charakterze elektrycznym bądź mechanicznym dochodzi do odkształcenia prądu silnika. Podstawowym źródłem informacji diagnostycznej jest widmowa analiza prądu silnika [7, 12].

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania innego niż prąd silnika sygnału diagnostycznego do badania ekscentryczności wirnika. Wykazano, że tym sygnałem może być pole magnetyczne wokół silnika indukcyjnego (aura). Pierwsze i jak do tej pory jedyne, według wiedzy autora, publikacje na ten temat to prace [1, 2, 6].

Aura magnetyczna jako sygnał diagnostyczny ma szereg zalet, do których można zaliczyć bezinwazyjność – nie ma potrzeby specjalnego przygotowania silnika, instalowania czujników ani innych ingerencji w strukturę silnika. Pomiar może być prowadzony w trybie *online*, nie tylko na stacji prób czy w laboratorium, ale także w warunkach przemysłowych. Do postawienia wstępnej diagnozy wystarczy prosty i szybki pomiar standardowym miernikiem pól przeprowadzony w wybranych punktach.

Wadą tej metody jest mała wartość sygnału diagnostycznego w porównaniu do sygnału zakłócającego – w pobliżu silnika występują w warunkach przemysłowych pola od innych obiektów. Sygnał diagnostyczny szybko maleje w miarę oddalania się od pakietu blach silnika. Rodząca się nowa metoda diagnozowania ekscentryczności wirnika silnika indukcyjnego – metoda aury magnetycznej – wymaga dalszych badań. W chwili obecnej brak kryteriów pozwalających na określenie nie tylko istnienia ekscentryczności, ale także jej rodzaju. Wpływ ekscentryczności dynamicznej i mieszanej na ewentualne zmiany kształtu i wartości pola magnetycznego wokół silnika wymaga dalszych prac, podobnie jak wpływ magnetycznego kadłuba i zakłóceń sygnału przez zewnętrzne pola.

Literatura

[1] CHMELIK K., VACHALA A.: *Pole magnetyczne wokół silnika asynchronicznego*. „Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne” nr 62, 2001, wyd. BOBRME Komel, s. 23–25.

-
- [2] CHMELIK K., VACHALA A., ČECH V.: *Magnetic field in the surroundings of induction motors*. „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”, seria: Elektryka, nr 176, 2001, s. 209–216.
- [3] DORELL D.G., THOMSON W.T., ROACK S.: *Analysis of fair-gap flux, current and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic air-gap eccentricity In 3-phase induction motors*. IEEE Trans. On IAS, 1995, s. 563–570.
- [4] DRĄK B., ZIENIEK P., NIESTRÓJ R., BOBOŃ A.: *Wpływ asymetrii szczeliny powietrznej na wartość napięć i prądów wałowych w silnikach indukcyjnych dużej mocy*. „Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne” nr 81, 2009, wyd. BOBRME Komel, s. 73–82.
- [5] DROZDOWSKI P., WEINREB K.: *Metody matematyczne diagnozowania silników indukcyjnych*. „Wiadomości Elektrotechniczne” nr 12, 1996, s. 522–525.
- [6] MRÓZ J.: *Aura silnika indukcyjnego jako sygnał diagnostyczny*. „Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne” nr 93, 2011, wyd. BOBRME Komel, s. 179–183.
- [7] RUSEK J.: *Interharmoniczne generowane przez maszynę indukcyjną ze statyczną lub dynamiczną ekscentrycznością*. „Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne” nr 83, 2009, wyd. BOBRME Komel, s. 129–134.
- [8] SOBczyk T.J., WEINREB K., SUŁOWICZ M.: *Diagnostyka silników klatkowych oparta na składowych symetrycznych prądach stojana*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 49, 2000, s. 28–36.
- [9] WEINREB K., SUŁOWICZ M.: *Skuteczne wykrywanie ekscentryczności dynamicznej w silniku asynchronicznym*. „Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne” nr 83, 2009, wyd. BOBRME Komel, s. 207–212.
- [10] WEINREB K., WĘGIEL T.: *Nieinwazyjna diagnostyka wirnika maszyny asynchronicznej*. „Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne” nr 69, 2004, wyd. BOBRME Komel, s. 35–40.
- [11] WEINREB K., WĘGIEL T., WARZECHA A., SUŁOWICZ M.: *Wpływ nasycenia głównego obwodu magnetycznego na ocenę ekscentryczności dynamicznej silnika asynchronicznego klatkowego*. „Prace Naukowe Politechniki Śląskiej”, seria: Elektryka, nr 177, 2001, s. 121–128.
- [12] WĘGIEL T., WEINREB K., SUŁOWICZ M.: *Wpływ harmonicznych żłobkowych przewodności na kształt widma prądu stojana w maszynie indukcyjnej z ekscentrycznym wirnikiem*. „Prace Naukowe Politechniki Śląskiej”, seria: Elektryka, nr 50, 2000, s. 236–243.

Badania zrealizowane z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS zakupionego w wyniku realizacji Projektu nr POPW.01.03.00-18-012/09 „Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej”, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej 2007–2013, Priorytet I. Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3 Wspieranie innowacji.

dr inż. Jan Mróz – Katedra Elektrodynamiki i Układów
Elektromaszynowych, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów;
janmroz@prz.edu.pl